

В.Я. Борщев, П.А. Иванов*

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОФИЛЯ СКОРОСТИ В ГРАВИТАЦИОННОМ ПОТОКЕ ЧАСТИЦ НА ШЕРОХОВАТОМ СКАТЕ

Быстрые гравитационные течения зернистых материалов имеют место во многих гидромеханических и тепломассообменных процессах переработки сыпучих материалов. Принципиальной особенностью этих течений являются наличие условия быстрого сдвига частиц материала, сопровождающегося активным взаимодействием частиц. Основными эффектами взаимодействия частиц в быстрых гравитационных потоках является квазидиффузионное перемешивание и разделение частиц (миграция), а также сегрегация частиц. Для прогнозирования названных эффектов необходимо располагать полной информацией о структурно-кинематических характеристиках потоков в виде профилей скорости и порозности.

Ранее авторами разработан метод рентгенографического исследования профиля порозности в гравитационном потоке зернистого материала [1]. Однако, определение профиля порозности не исчерпывает проблему исследования параметров гравитационного потока, поскольку определение локальных кинематических характеристик также является достаточно сложной задачей. Трудности определения кинематических характеристик отдельных частиц при быстром сдвиге являются следствием сложного характера движения последних. Скорость частиц при быстром сдвиге зернистого материала является результатом наложения скорости поступательного смещения частицы в направлении сдвига и скорости ее хаотического перемещения.

В настоящей работе для экспериментального определения профиля скорости продольного перемещения частиц предложен метод, являющийся комбинацией метода рентгенографического исследования профиля порозности на гравитационном скате и экспериментальной части известного экспериментально-аналитического метода, связанной с анализом стадии свободного падения частиц [2].

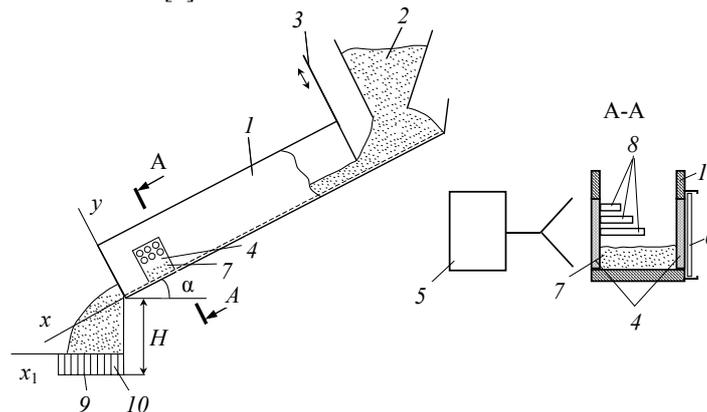


Рис. 1 Схема экспериментальной установки:

- 1 – шероховатый скат; 2 – бункер; 3 – шибер; 4 – окно, закрытое оргстеклом;
- 5 – источник рентгеновского излучения; 6 – кассета с рентгеновской пленкой;
- 7 – поток сыпучего материала; 8 – контрольные образцы с фиксированной концентрацией твердой фазы; 9 – кювета с ячейками; 10 – перегородки в кювете

Экспериментальная установка для реализации данного метода состоит из установки для определения профилей порозности методом рентгеноскопии (рис. 1) и кюветы с ячейками для анализа стадии свободного падения вылетающих частиц, расположенной под гравитационным скатом по аналогии с традиционной установкой [2].

Методика эксперимента заключается в следующем. В период времени экспозиции при получении рентгенограммы потока, параллельно осуществляют прием падающего материала в кювету с ячейками в соответствии с известным методом [2]. В результате, кроме рентгенограммы потока, получают информацию о времени сыпания τ , толщине сыпающегося слоя h , ширине желоба S , высоте от порога сыпания частиц до горизонтальной кюветы H , угле наклона желоба α и распределении массы материала по ячейкам G_i . Далее, путем обработки рентгенограммы потока, получают профиль порозности по высоте слоя. Затем используют послынную расчетную схему, в которой для каждого слоя, начиная с нижнего, подбирают такую его высоту, при которой частицы, вылетающие из него со скоростью u_i , падают на расстоянии x_i от начала кюветы, и масса материала G_i в i -той ячейке соответствует массе материала, вылетающего из i -го слоя со средней скоростью $\frac{u_i + u_{i-1}}{2}$ за время τ . Расчетная схема реализуется при граничном условии прилипания:

$$\begin{cases} y_1 = 0, \\ u_{y=0} = 0. \end{cases} \quad (1)$$

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. В.Н. Долгунина.

Среднюю скорость u_i и высоту i -го слоя h_i определяют путем решения следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} u_i = \frac{x_{i_i} - (y_i + h_i) \sin \alpha}{\cos \alpha \sqrt{H + (y_i + h_i) \cos \alpha - (x_{i_i} - (y_i + h_i) \sin \alpha) \operatorname{tg} \alpha}} \cdot 2 / g; \\ G_i = S h_i \frac{u_i - u_{i-1}}{2} \rho \left(1 - \frac{1}{h_i} \int_{y_i}^{y_i+h_i} \varepsilon(y) dy \right) \tau. \end{cases} \quad (2)$$

На рис. 2 представлена блок-схема экспериментального определения профилей скорости и порозности в гравитационном потоке на шероховатом скате.

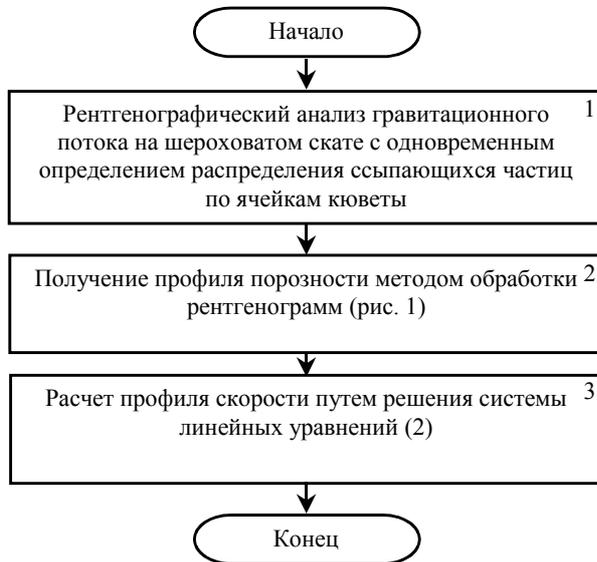


Рис. 2 Блок-схема алгоритма определения профилей скорости и порозности экспериментальным методом

На рис. 3 в качестве примера показан профиль скорости в гравитационном потоке керамических шариков, который в совокупности с ранее полученными профилями порозности, комплексно характеризует динамику течения зернистого материала при заданных условиях его течения.

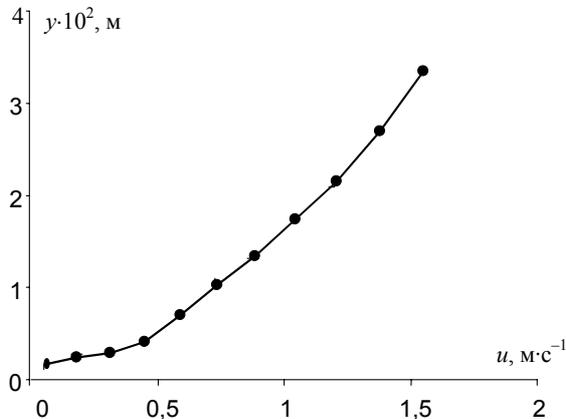


Рис. 3 Профиль скорости керамических шариков диаметром $6,6 \cdot 10^{-3}$ м в гравитационном потоке на шероховатом скате, полученный экспериментальным методом

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Борщев В.Я., Долгунин В.Н., Иванов П.А., Разработка метода бесконтактного измерения концентрации твердой фазы в быстром сдвиговом потоке зернистой среды // Вестник ТГУ, Сер. Естественные и технические науки. 2001, Т. 6, Вып. 4. С. 428 – 430.
- 2 Dolgunin V.N., Ukolov A.A., Powder Technology. 1995, P. 95.